



FATEC-SP
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
Departamento de Transportes e Obras de Terra

EMERSON MACHADO DA SILVA

**VANTAGENS DO SISTEMA DE COMPACTAÇÃO
INTELIGENTE EM RELAÇÃO À COMPACTAÇÃO
CONVENCIONAL**

SÃO PAULO
2013

EMERSON MACHADO DA SILVA

**VANTAGENS DO SISTEMA DE COMPACTAÇÃO
INTELIGENTE EM RELAÇÃO À COMPACTAÇÃO
CONVENCIONAL**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Construção Civil na modalidade Movimento de Terra e Pavimentação.

Orientador: Prof. Rogério Marques Sant'Anna

**SÃO PAULO
2013**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho á minha família e ao acervo do conhecimento humano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter superado mais esta etapa na minha vida.

A minha família, que sempre me apoiou em todo o decorrer da minha vida.

Ao meu orientador, Rogério Marques Sant'Anna por todo o conhecimento que me transmitiu, pelo seu apoio e disponibilidade.

A Professora Arisol Simone Sayuri Tsuda Yamamoto, por sua paciência, atenciosidade e conhecimento que me transmitiu no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Odair de Oliveira Rosa, pelo seu conhecimento prático, e pelo apoio na solução de dúvidas e problemas decorrentes.

Á todos os professores da Fatec-SP que ministram aulas para o curso de Movimento de Terra e Pavimentação, pelos ensinamentos transmitidos em cada disciplina cursada.

Á todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho seja com apoio moral ou auxílio na pesquisa de forma direta ou indireta.

EPÍGRAFE

“Sábio é aquele que conhece os limites da própria ignorância.”

Sócrates

RESUMO

Em obras de terraplenagem, a compactação desempenha um papel muito importante e de suma responsabilidade. Neste trabalho de fim de curso, considero oportuno abordar a metodologia e as técnicas de compactação, com vista em novos equipamentos ditos como inteligentes. Apresentam-se os tipos de materiais aplicados, as condições de aplicação destes materiais em aterro, com abordagem dos ensaios laboratoriais e controle tecnológico realizado neste tipo de obra. A compactação de solos para obras de terraplenagem exige um controle tecnológico eficiente, preciso e ágil. Com isso os principais fabricantes de equipamentos pesados seguem investindo em tecnologia para aumentar a eficiência dos mesmos. Apresenta-se a comparação de eficiência produtiva do método tradicional de compactação com o sistema de compactação inteligente, que dispensa os ensaios de controle de campo, com o intuito de resultar num serviço cada vez mais preciso e produtivo.

Palavras-chave: Terraplenagem. Compactação. Equipamentos. Produtivo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Serviço de Terraplenagem	1
Figura 1.2: Sensor de Elevação da Superfície	2
Figura 2.1: Timóteo Vale do Aço	5
Figura 2.2: <i>SteamRoller</i> (rolo compressor a vapor)	5
Figura 2.3: Sistema Vibratório (adaptado)	6
Figura 3.1: Esquema da estrutura de aterro	11
Figura 4.1: Equipamentos de Ensaio <i>Speed Test</i>	14
Figura 4.2: Equipamentos Utilizados (moldes e soquetes).....	15
Figura 5.1: Tipos de Patas de Rolos Pé de Carneiro	16
Figura 5.2: Fotos de Diferentes Patas de Rolos Pé de Carneiro	17
Figura 5.3: Rolo Pé de Carneiro DYNAPAC.....	17
Figura 5.4: Rolo Liso Volvo SD122D.....	18
Figura 5.5: Efeito de um Rolo Liso Vibratório	19
Figura 5.6: Frequência e Amplitude	20
Figura 5.7: Sistema Vibratório	20
Figura 6.1: Registro e Impressão dos Dados Obtidos	21
Figura 6.2: Cabine de Controle com Mapeamento de Pontos Críticos	22
Figura 6.3: Interfaces dos Sistema de Compatação Via Satélite	22
Figura 6.4: Rolo Compactador CAT CS56	23
Figura 6.5: Sistema de Trasmissão de dados	23
Figura 6.6: Visor LCD.....	24
Figura 7.1: Grau de compactação em função da Velocidade.	27
Figura 7.2: Comparativo.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO – *American Association of State Highway and Transportation Officials* (Associação Americana de Transporte Rodoviário e Funcionários do Estado).

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AC – Antes de Cristo.

ATS – *Advanced Tracking System* (Sistema de Rastreamento Avançado).

BTM – *Bomag Meter e Terrámetro*.

CBR – *Califórnia Bearing Ratio*.

CCVs – *Compression Values Caterpillar* (Valores de Compactação Caterpillar).

CMR – *Compact Measurement Record* (Serviço de Medição Compacta).

DER-SP – Departamento de Estrada e Rodagem de São Paulo.

DGPS – *Differential Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global Diferencial).

DNER– Departamento Nacional de Estrada e Rodagem.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte.

GPS – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global).

LCD – *Liquid Crystal Display* (Display de Cristal Líquido).

PIA – Parte Inferior do Aterro.

PSA – Parte Superior do Aterro.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivo	3
1.1.1	Objetivo específico	3
1.2	Justificativa	3
1.3	Metodologia.....	4
2	APRESENTAÇÃO HISTÓRICA	5
3	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	8
3.1	Tipos de Materiais	8
3.2	Definição das Categorias dos Materiais.....	9
3.3	Condições de Utilização dos Materiais.....	10
3.4	Estrutura do Aterro	10
4	COMPACTAÇÃO	12
4.1	Definição.....	12
4.2	Considerações da Teoria da Compactação	13
4.3	Controle de Compactação	13
5	EQUIPAMENTOS DE COMPACTAÇÃO	16
5.1	Rolo Pé de Carneiro	16
5.2	Rolo Liso Vibratório	18
6	EQUIPAMENTOS DE COMPACTAÇÃO INTELIGENTE	21
6.1	Sistema de Compactação Inteligente BOMAG	21
6.2	Sistema de Compactação Inteligente CATERPILLAR	23
7	ANÁLISE DE DADOS	25
8	CONCLUSÃO.....	29

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o avanço tecnológico torna-se necessário o uso da tecnologia tanto quanto possível. Outro fator que entra em pauta é a busca por conquistar os consumidores mais exigentes, que leva os fabricantes a cada dia aperfeiçoarem seus produtos. Hoje existe micro chips que, se aplicados e utilizados de forma adequada, podem aumentar a produtividade de um serviço.

A aplicação desta tecnologia se vê mais intensa em todos os serviços de grande responsabilidade, compreendendo um controle contínuo de qualidade e segurança. Para os serviços de terraplenagem, por envolver um custo elevado com equipamentos/hora, procura-se aperfeiçoar tais serviços, utilizando principalmente a otimização dos equipamentos.

De forma genérica pode-se definir terraplenagem ou movimento de terra como conjunto de operações necessárias à remoção do excesso de terra para locais onde esteja em falta, tendo em vista um determinado projeto a ser implantado. (RICARDO; CATALANI, 1990)



Figura 1.1: Serviço de Terraplenagem
Fonte: GATTO (2013)

Assim denominado o serviço de terraplenagem, o mesmo pode ser aplicado em vários tipos de obras de construção civil: rodovias, ferrovias, aeroportos, edificações, dentre outras, podendo ser de pequeno, médio ou grande porte.

Estes serviços podem ser executados de forma manual ou mecânica. Segundo Ricardo, Catalani (1990), a forma manual vem sendo extinta com o aparecimento de

equipamentos mecanizados, que se consolidou com a implantação do motor a diesel, que lhe deu maior produtividade e minimizou os custos.

Os equipamentos de terraplenagem mecanizados são classificados por unidades tratores, escavo-empurradoras, escavo-transportadora, escavo-carregadeiras, aplanadoras, transportadoras, compactadoras e escavo - elevadoras. Chaves (1955) *apud* Ricardo, Catalani (1990, p. 50).

Cabe notar que tais equipamentos são empregados no desmonte de solos de primeira, segunda e terceira categoria com o auxílio de explosivos. (DER-SP, 2005)

Dentre os serviços de terraplenagem a compactação dos solos é considerada uma tarefa complexa, devendo ser devidamente controlada através de cálculos de volumes de escavação e aterro e a respectiva orientação dos materiais de terraplenagem. Cálculos de produção de escavação, transportes, colocação do material e nivelamento são necessários para poder executar a compactação sem atrasos. (RIBEIRO, 2008)

Algumas das maiores fabricantes de equipamento de terraplenagem vêm utilizando recursos tecnológicos em sua máquinas, como a CAT (2007) que utiliza a compactação *AccuGrade* que documenta os resultados para a utilização em aplicações de controle de qualidade e segurança, aumentando a produtividade. Já a BOMAG (2010) com os sistemas *EVIB Bomag Meter e Terrámetro BTM plus/BTM prof* que são utilizados integralmente garantindo a determinação durante o processo de compactação da rigidez do solo, com valor relacionado entre a força de contato do solo e do rolo compactador.



Figura 1.2: Sensor de Elevação da Superfície
Fonte: CAT (2007)

1.1 OBJETIVO

Comparar o sistema inteligente para rolos compactadores desenvolvidos pela CATERPILLAR e BOMAG com o sistema de compactação convencional, para a compactação de corpo de aterro.

1.1.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

Apresentar uma nova tecnologia de compactação inteligente, assim como suas funcionalidades, a aceitação do mercado diante de um novo conceito, verificar se os mesmos são aplicados em qualquer tipo de solo e quais suas implicações diante da tecnologia convencional.

1.2 JUSTIFICATIVA

Todas as obras de grande, médio ou pequeno porte de engenharia civil, exigem trabalhos prévios de movimento de terra, que normalmente são significantes em relação ao custo total da obra, pelo fato de envolver prazo, controle e grande responsabilidade.

Em serviços de terraplenagem de obras rodoviárias, os serviços de compactação exigem uma atenção significativa, pois seus efeitos agem diretamente com o produto final, ocasionando sucesso ou desastre de todo o trabalho.

Por diversos motivos dentre os citados acima, em obras de compactação há um controle constante de umidade ótima, grau de compactação, dureza, quantidades de passadas dentre outros. No método convencional, as amostras são retidas constantemente e ensaiadas no campo, ditando assim a evolução da obra. Há diversos tipos de ensaios rápidos realizados em campo, porém por mais rápido que sejam estes ensaios, os mesmos provocam certo retardo no desenvolvimento da obra, o que eleva os custos.

Como os serviços de terraplenagem abrangem diversas estruturas, que são construídas para finalidades específicas, o presente trabalho se direciona para a o corpo de aterro, que tem a função de receber as cargas totais.

Atualmente é implantada tecnologia inteligente em rolos compactadores. Auxiliados por *Global Positioning System* (GPS), computador de bordo, e diversos sensores, os rolos compactadores são capazes de transmitir através de monitores *Liquid crystal display* (LCD), mapeamento de passadas, a resistência, a dureza e a rigidez do material, levando os

dados necessários para cabine de comando, que pode ser programada para operar automaticamente (buscando em sua programação os ajustes necessários), ou até mesmo manualmente atendendo os comandos do operador, que pode reajustar o tanto quanto for necessário, para cada trecho da obra. (BOMAG, 2010)

Em vista de todas as qualidades da nova tecnologia, há a necessidade de verificar a confiabilidade de tais equipamentos e a relação dos parâmetros utilizados para caracterizar certos índices com os parâmetros convencionais.

1.3 METODOLOGIA

Foi utilizado um método de abordagem analítico, partindo das teorias, leis e estudos de compactação dos solos.

O método de procedimento a ser adotado será comparativo entre os resultados obtidos pelos métodos convencionais por extração de amostra em campo ou por captação de sensores instalados nos equipamentos que utilizam o sistema inteligente.

Foram levados em consideração para estudo os principais sistemas de compactação fornecidos pela BOMAG e CATERPILLAR, que são as empresas pioneiras em adotarem os sistemas de compactação inteligente.

Para poder comparar os resultados obtidos foram considerados os principais ensaios realizados para determinar a resistência, a dureza e a rigidez do material.

Para a coleta de dados, a técnica empregada foi de levantamentos bibliográficos e consulta de manuais dos principais fabricantes de rolos compactadores.

O embasamento teórico foi calcado em conceitos e critérios internacionais que determinam tais características do solo.

2 APRESENTAÇÃO HISTÓRICA

O homem sempre esteve estreitamente relacionado com o solo, usando-o como base para sua vida. Um dos casos mais antigos de compactação é datado de 3500 AC (até esta época as estradas eram apenas caminhos compactados por repetidas passagens de animais), com a descoberta de um rolo de pedra com cerca de cinco toneladas, que se acredita terem sido utilizados pelos Incas na região onde hoje é o México, para comprimir caminhos para passagem de carroças. No século XIX, nos anos 30 na França, surgem os primeiros rolos com tração animal para compactação de estradas. (RIBEIRO, 2008)



Figura 2.1: Timóteo Vale do Aço
Fonte: ACESIVA (2009)

Segundo Ribeiro (2008), em 1860 com o surgimento das máquinas a vapor, surge o *SteamRoller* (rolo compressor a vapor) provocando um impacto significativo na compactação. A técnica de compactação deve-se a outras aplicações, como a construção de pequenas barragens, e represas que no início do século XIX utilizava gado bovino e ovino para comprimir o aterro, iniciava a concepção do rolo pé de carneiro, que só foi patenteado nos Estados Unidos em 1906, sendo aplicado principalmente em solos coesivos, ou seja, materiais com grande porcentagem de argila, o que permite maior coesão entre os grãos.

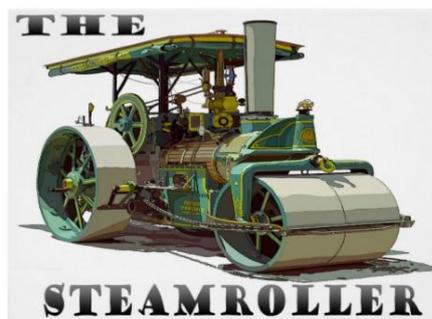


Figura 2.2: *SteamRoller* (rolo compressor a vapor)
Fonte: BUFFALO SPRINGFIELD (2013)

Mas o grande desenvolvimento dos equipamentos de compactação se deu, no início do século XX, com rolos pé de carneiro inicialmente leves, compressão de contato entre 414 e 690 KPa, e os primeiro rolo liso propulsionado por motor de combustão interna, com pesos que atingiam 30 toneladas.

Em 1930 surgem os primeiros cilindros de pneu com peso de 6 a 7 toneladas, e os rolos pé de carneiro com peso de 14 toneladas e pressão de contato de 2100 a 4100 KPa, tendo em vista os próximos desenvolvimentos sendo em tamanho e unidade propulsora.

Durante os anos 30 na Alemanha, se consolida a técnica de compactação vibratória e dinâmica, que consiste na utilização de rolos compactadores com o auxílio de um sistema vibratório, que permite uma vibração do cilindro no sentido vertical ao solo, impactando-o sucessivamente. (RIBEIRO, 2008)

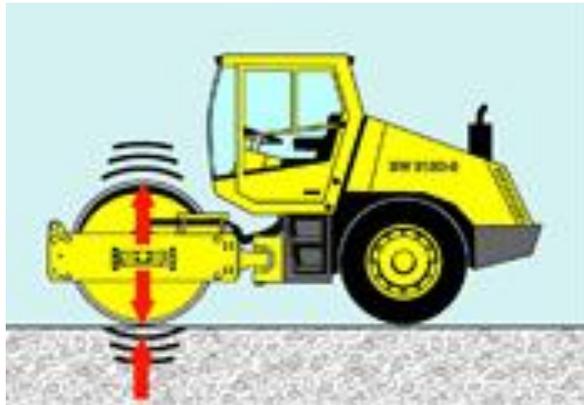


Figura 2.3: Sistema Vibratório (adaptado)
Fonte: REVISTAMT (2011)

Ao decorrer da segunda guerra mundial, era exigida uma tecnologia avançada para pista de aeroportos de pavimentos, levando o desenvolvimento e a utilização em massa de equipamentos pesados, chegando a ter cilindros de pneus com carregamento de até 100 toneladas. Foi nesta década onde houve o maior avanço no campo da compactação, visto com mais intensidade no sistema de compactação vibratório, sendo cada vez mais utilizados.

Nos primórdios da evolução, os rolos compactadores foram utilizados para solos não coesivos (materiais arenosos, que não permite muita consistência entre os grãos), mas hoje em dia são muitos utilizados para materiais coesivos e betuminosos. A carga dinâmica de sucessões repetidas veio para permitir o rearranjo das partículas, resultando no solo mais denso. (RIBEIRO, 2008)

O sistema de compactação dos solos surgiu de forma empírica e limitada, ao decorrer das décadas veio se desenvolvendo e ampliando sua utilização. Em diversas aplicações concedeu uma melhor capacidade de suporte, permitindo o avanço principalmente quando se trata de estradas, que com o passar dos anos é cada vez mais exigido, com tráfego intenso e maior carga por eixo.

Diante de um mercado que cresceu 69% em 2010, levando a venda de 2.540 unidades, de acordo com o levantamento que a Associação Brasileira de Tecnologia para Construção e Mineração (Sobratema) realizou no Brasil, os fabricantes de rolos compactadores apostam em tecnologia. As tecnologias de monitoramento visam à redução de custo e prazo da obra, dando maior produtividade nos canteiros, prometendo transformar a coleta de corpos de prova em coisa do passado. (REVISTAMT, 2011)

3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1 TIPOS DE MATERIAIS

Aqui serão abordadas as principais características dos solos empregados em serviços de terraplenagem bem como suas classificações em âmbito nacional e internacional. Na execução de serviços de terraplenagem podem ser utilizados os melhores equipamentos e mão-de-obra, mas se os materiais a serem utilizados não tiverem boas características, causará uma preocupação extra, comprometendo o resultado final. Com isso se vê a importância do conhecimento do material a ser utilizado.

Para a execução de serviços de terraplenagem rodoviária é de suma importância o conhecimento das características mecânicas e físicas dos solos, podendo ser materiais de aterro, solo, pedregulho ou solo com fragmentos de rocha. (DER-SP, 2005)

Nos serviços de compactação é necessário utilizar materiais específicos para aterros, considerando o suporte de carga do terreno natural. De forma geral, os materiais de superfície são classificados em rochas e solos sendo:

Rocha – Material constituinte da crosta terrestre proveniente das ações vulcânicas, tendo ou não sofrido, alteração na sua composição, apresentam elevada resistência e dureza, somente modificável com o contato de água e ar em casos muito especiais. (RICARDO; CATALANI, 1990)

Solos – Material proveniente da decomposição das rochas por diversos fatores geológicos, ou pela sedimentação, não consolidação dos grãos elementares da rocha sã, com adição eventual de partículas fibrosas de material carbonoso e matéria orgânica. (RICARDO; CATALANI, 1990)

Segundo a terminologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004 os solos são classificados em:

Pedregulho – solos formados por minerais ou partículas de rocha, constituída pelos grãos de diâmetro maior que 4,8 mm e menor que 76 mm;

Areia – solos não plástico formado por minerais ou partículas de rocha, constituinte por grãos de diâmetro mínimo de 0,05 mm e máximo de 4,8 mm;

Silte – solo que apresenta características de coesão para formar torrões, facilmente desagregável com os dedos (quando seco), com diâmetros dos grãos que vão de 0,005 mm á 0,05 mm;

Argila – solos que apresentam características marcantes de plasticidade, quando úmido molda-se facilmente, quando seco apresenta coesão o bastante para construir torrões facilmente desagregáveis com os dedos, suas propriedades são devidas aos diâmetros dos grãos que são inferiores a 0,005 mm;

Os que não se verificarem nitidamente a predominância das propriedades anteriores serão designados pelo nome do solo que apresenta propriedades mais acentuadas seguido dos adjetivos correspondentes. Por exemplo: argila siltosa, silto argilo-arenoso, etc.;

Turfas – solos com grandes porcentagens de partículas fibrosas de material carbonoso, ao lado de matéria orgânica, do estado coloidal;

Alteração de Rocha – é o solo proveniente da desagregação das rochas pelos diversos agentes geológicos:

Solos superficiais – o solo abaixo do terreno natural, exposta á ação dos fatores climáticos e de origem vegetal e animal.

3.2 DEFINIÇÃO DAS CATEGORIAS DOS MATERIAIS

Os solos utilizados para serviços de terraplenagem são divididos em categorias. Segundo o DER-SP, 2005 sendo:

- Materiais de 1ª e 2ª categoria. São os solos em geral, as rochas em decomposição, seixos rolados ou não com dimensão máxima de 0,15m e todos os materiais que podem ser escavados por maquinas simples de escavação.
- Materiais de 2ª categoria (com escarificador). São as pedras soltas e rochas fraturadas em blocos maciços com volume abaixo de 0,50 m³, as rochas alteradas, exceto as de 1ª categoria, com resistência menor que a rocha sã, e que necessita da utilização do escarificador para sua extração.
- Materiais de 2ª categorias (com explosivos). São os mesmos qualificados de 2ª categorias, cuja seu desmonte exija o emprego de explosivos de baixa potência.

- Materiais 3ª categoria. São as rochas sãs, matacões maciços e rochas fraturadas com volume igual ou superior a 0,50m³, que só serão extraídos com a utilização de explosivos se reduzindo em blocos.

Os solos utilizados para aterro são os aproveitados de cortes e de empréstimos, segundo DNER (1997) deverão ser isentos de materiais orgânicos, micáceos, e/ou diatomáceos. Turfas e argilas orgânicas não devem ser utilizadas.

3.3 CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados dividem-se em solos, materiais granulares não britados, materiais granulares britados e solos tratados com cal e/ou cimento para camada de leito de pavimento.

Deverão ser adotados alguns procedimentos para controle dos materiais, tais como ensaio de compactação 1 (um) a cada 1.000m³ de material no corpo do aterro e 1 (um) a cada 200m³ na camada final do aterro segundo o método de ensaio (DNER - Método de Ensaio 129/94a).

Deverão também ser realizados os ensaios de granulometria (DNER - Método de Ensaio 080/94b), de limite de liquidez (DNER- Método de Ensaio 122/94c), do limite de plasticidade (DNER - Método de Ensaio 082/94d) e Índice de Suporte Califórnia (DNER – Método de Ensaio 049/94e), este último deverá ser aplicado apenas na camada final do aterro, para todo grupo de quatro amostras submetidas ao ensaio de compactação. Os demais serão realizados na mesma proporção, tanto para corpo do aterro, quanto para camada final (DNER- Especificação de Serviço 282/97).

3.4 ESTRUTURA DO ATERRO

O aterro destinado à implantação de um pavimento se divide em 6 zonas, de acordo com Ribeiro (2008) são elas:

- Fundação do Aterro: Terreno natural onde serão colocados novos materiais.
- Parte Inferior do Aterro (PIA): É constituída pelas duas primeiras camadas de aterro, sendo a parte que sobrepõe à fundação de aterro. No caso de terreno ruim, que necessita a troca de materiais, as camadas abaixo da superfície natural também são consideradas PIA.

- Corpo do Aterro: É a parte do material aterrado que fica compreendido entre a Parte inferior e a Parte Superior do Aterro.
- Parte Superior do Aterro (PSA): É a camada de aterro que antecede o leito do pavimento, sendo sua espessura na ordem de 40 a 85 cm.
- Espaldar: É a parte lateral do corpo do aterro em alguns casos tem a função de estabilizar o maciço, limitada pelos taludes ocupando uma faixa de aproximadamente 4 m.
- Leito do Pavimento: É a última camada de aterro.

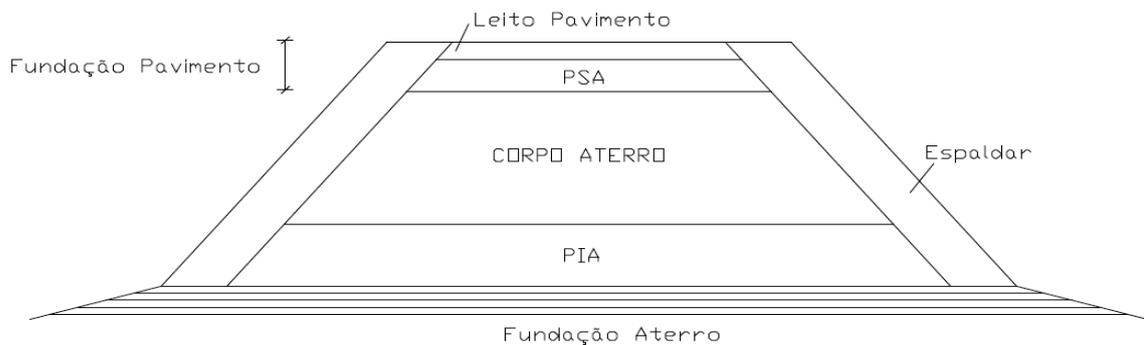


Figura 3.1: Esquema da estrutura de aterro
Fonte: RIBEIRO (2008)

O leito do pavimento tem uma importância bem significativa sendo estudado mais detalhadamente. Sendo a última camada de terraplenagem, tem dentre outras, a função de fechar o aterro, sendo construída com material de boa qualidade e um cuidado especial na sua construção, tendo em vista uma superfície lisa e sem ondulações e isenta de materiais soltos.

As principais funções do leito de um pavimento é proteger o aterro, garantir certa capacidade de suporte, regularizar, nivelar e dar as condições ideais para a execução das camadas de pavimento. (RIBEIRO, 2008)

4 COMPACTAÇÃO

4.1 DEFINIÇÃO

O principal motivo de se realizar os serviços de compactação dos solos é primeiramente, aumentar a capacidade de suporte, aumentar sua resistência e prevenir eventuais deformações, em segundo uniformizar as camadas e diminuir a permeabilidade, podendo utilizar imediatamente o solo estruturalmente. (MOURA, 2013)

A definição de compactação segundo Fernandes (1994), pode ser entendida como sendo o: “[...] processo que uma massa de solo constituída por partículas sólidas, água e ar vê diminuído o seu índice de vazios por redução do volume à custa da aplicação repetida de cargas. A compactação permite um aumento da resistência ao corte, e uma redução da deformabilidade e permeabilidade do solo”.

A KOMATSU (1982) descreve como sendo compactação dos solos um procedimento realizado através de um compactador ou rolo compactador que provoca o desprendimento da energia segregando as partículas do solo, que conseqüentemente são movidas sobrepondo a fricção interna e a coesão, preenchendo os espaços vazios.

Por outras palavras a compactação dos solos é um processo pelo qual, por ação mecânica de equipamentos específicos, diminuem-se os vazios de ar dos solos, conferindo-lhes características tecnológicas adequadas para sua utilização em obras viárias. (METRÔ-SP, 1990)

Segundo o DNIT (2010) os objetivos da compactação são:

- Aumentar a capacidade de suporte do material do solo ou pavimento;
- Aumentar a estabilidade do material compactado;
- Aumentar a resistência do material ao intemperismo;
- Aumentar a impermeabilidade do material do solo ou pavimento;
- Dar acabamento superficial em alguns casos.

4.2 CONSIDERAÇÕES DA TEORIA DA COMPACTAÇÃO

A compactação é um método de expulsar os vazios dos solos por aplicação de alguma forma de energia (impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica). Seu efeito confere ao solo um aumento de seu peso específico e resistência ao cisalhamento, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade. Pela equação de Coulomb sabemos que a resistência à ruptura por cisalhamento de um solo, depende da coesão e do atrito interno, sendo que este depende diretamente do teor de umidade e do volume de vazios. (RICARDO; CATALANI, 1990)

Através do ensaio de compactação é possível obter a correlação entre o teor de umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado com determinada energia. O ensaio mais comum é o de Proctor, que é realizado através de sucessivos impactos de um soquete padronizado na amostra.

Cada solo a ser compactado necessita de um equipamento específico, como os siltosos e argilosos que são melhores compactados com rolos pé de carneiro, pois estes desenvolvem pressões de contato elevadas, mais que é ineficaz sua aplicação em materiais não coesivos. Já solos arenosos são melhores compactados com o rolo liso vibratório, pois a vibração tem a função de reajustar as partículas aumentando a sua densidade e capacidade de suporte.

4.3 CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

Para ter um controle nos serviços de compactação em obras rodoviárias, há uma necessidade de se executar alguns ensaios. Para controle de campo são executados ensaios de controle de umidade e densidade do material. Esses ensaios fornecem dados suficientes para controle do grau de compactação, que será estabelecido através de uma umidade ótima.

Para determinar o teor de umidade em campo, utilizamos alguns métodos, que serão descritos a seguir, de acordo com Ribeiro (2008):

- Método do *Speedy Test*;
- Método do Álcool;
- Método da Frigideira;
- Método Reativo.

O método do *Speed Test* é realizado com uma garrafa denominada *speed*, que em seu interior faz reagir carboneto de cálcio com a água presente numa amostra de solo extraída em campo. Esta reação acaba liberando um gás aumentando a pressão no interior da garrafa, que é calibrada e realizando uma correlação com a pressão em seu interior, determina-se a quantidade de água presente naquela amostra. É normalmente utilizado para rápida determinação de teor de umidade, não sendo tão preciso em solos finos, pela dificuldade em desagregar as partículas.

O método do álcool consiste na adição de álcool a uma amostra de solo com sua posterior queima, e a quantidade de água é determinada por relação entre o peso da amostra úmida e seca. Este ensaio não é muito utilizado, além de ser perigoso se utiliza para caso de solos granulares.

O método da frigideira consiste na colocação de uma amostra de solo numa frigideira, realizando assim seu aquecimento e evaporando a água. A determinação do teor de umidade se dá pelo mesmo método do álcool.

O método reativo se utiliza de um aparelho designado de gamadensímetro, que mede o teor de umidade e o peso volumétrico seco. A medição se faz com a emissão de nêutrons no solo, que por colisão com os átomos de hidrogênios se transforma em nêutrons lentos.

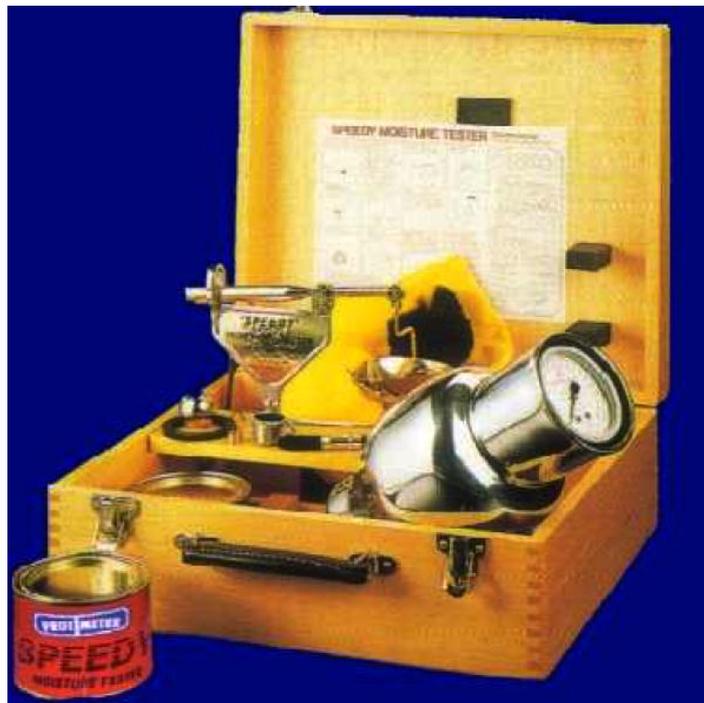


Figura 4.1: Equipamentos de Ensaio *Speed Test*
Fonte: RIBEIRO (2008)

Proctor estudioso das técnicas de compactação desenvolveu um procedimento laboratorial padronizado pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHO). O ensaio se dá na compactação de três camadas de solos com um soquete de 2,5 kg e 5,08 cm de diâmetro, aplicando vinte e cinco golpes por camada a uma altura de 30,5 cm em um cilindro de 1000 cm³. Estas condições só são aplicadas nos ensaios denominados de energia normal, tendo os ensaios de energia intermediária e energia modificada realizados com soquete de 4,5 kg e altura de queda de 45 cm, com molde de 2000 cm³ e tendo cinco camadas realizando vinte e seis golpes (energia intermediária) e cinquenta e cinco golpes (energia modificada), segundo Proctor (1933) *apud* Moura (2013, p. 63).



Figura 4.2: Equipamentos Utilizados (moldes e soquetes)
Fonte: MOURA (2013)

Com os dados obtidos pelo proctor (umidade ótima e energia), se realiza os ensaios de Califórnia Bearing Ratio (CBR), verificando qual CBR se consegue com tal material nas condições especificadas.

Em campo, empiricamente tenta-se colocar o material em sua umidade ótima, através de escarificadores que espalha e envolve o material com a função de soltar e acelerar a secagem (se necessário), ou irrigar o material com caminhão pipa (se necessário). Para saber se o material esta na umidade ótima realiza-se alguns ensaios como o *Speed Test* e o da frigideira. Atingindo a umidade ótima constrói-se uma camada de teste para compactação com a energia utilizada no proctor, para se determinar qual a velocidade do equipamento e qual a quantidade de passadas do mesmo. Para saber tais parâmetros é realizado o ensaio de funil de areia, com distâncias especificadas em norma. (MOURA, 2013)

5 EQUIPAMENTOS DE COMPACTAÇÃO

5.1 ROLO PÉ DE CARNEIRO

Os equipamentos mais utilizados na compactação de obras rodoviárias podem ser classificados em cilindro vibrador, cilindro pé de carneiro, cilindro de pneus e cilindro rolo liso. São projetados para usar esforços de amassamento, estático, impacto e vibração, ou a combinação deles (RIBEIRO, 2008). Neste presente trabalho serão abordados apenas os cilindros pé de carneiro e o cilindro liso vibratório, que são reconhecidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT como rolo pé de carneiro e rolo liso vibratório.

O Rolo pé-de-carneiro é um dos equipamentos mais antigos empregados na compactação dos aterros pelo fato de sua concepção ser bem simples, obtendo-se boa compactação em grandes partes dos solos empregados. (RICARDO; CATALANI, 1990)

Estes tipos de rolos são compostos por um tambor oco (Cheio de areia, água ou pedra para aumentar seu peso) que é acoplado por saliências denominadas **patas** que podem ter diversos formatos e alturas variando de 20 a 25 cm (ou mais), localadas em fileiras que reduzem a área de contato com o solo, aumentando a pressão, definindo a velocidade, e o número de passadas do equipamento. (RICARDO; CATALANI, 1990)

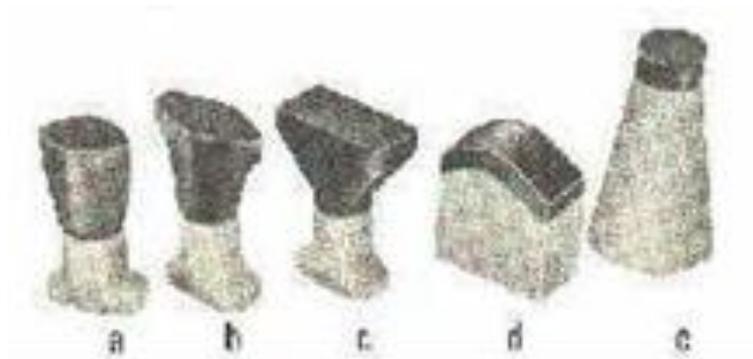


Figura 5.1: Tipos de Patas de Rolos Pé de Carneiro
Fonte: ACESIVA (2009)

Sendo essenciais para solos finos e granulares com fino, e solos com tendência a lamelação, como é o caso das argilas, pois a penetração das patas sobre o solo proporciona um aumento na resistência global do aterro. (RIBEIRO, 2008)

Estes cilindros compactam uma camada de espessura na ordem de até 10 cm por passagem, e proporciona para camadas profundas com até 30 cm. Se o material estiver em condições trabalháveis (solto), é possível obter uma densidade uniforme por toda a profundidade da camada. (RIEIRO, 2008)



Figura 5.2: Fotos de Diferentes Patas de Rolos Pé de Carneiro
Fonte: CAT (2007)

Os rolos pé de carneiro podem ser utilizados individualmente, em pares, triplos, ou até mesmo em dois pares lado a lado e em tandem. Os mais antigos eram rebocados, os atuais já tem autopropulsão, por pneus e no caso de tandem um eixo tem direção articulada. (RICARDO; CATALANI, 1990)



Figura 5.3: Rolo Pé de Carneiro DYNAPAC
Fonte: MOURA (2013)

5.2 ROLO LISO VIBRATÓRIO

Como o próprio nome já diz, o rolo liso vibratório é um equipamento composto por um ou mais cilindros metálicos, que tem a capacidade de vibrar. O mesmo pode ter um cilindro dianteiro e ser tracionado por pneus, tendo maior mobilidade, ou ter dois cilindros compactadores (eixo dianteiro e traseiro) sendo em tandem, que proporciona maior efeito de compactação, porém diminui a capacidade de manobra do equipamento, sendo por sua vez mais bem aplicado em obras que não necessitam de muitas manobras. (RIBEIRO, 2008)



Figura 5.4: Rolo Liso Volvo SD122D
Fonte: VOLVO *apud* RIBEIRO (2008)

Atualmente estão sendo introduzidas novas tecnologias que aplicam um sistema oscilatório nos rolos compactadores, o que garante um contato permanente do rolo no solo, ao contrário do sistema vibratório que permite apenas movimento vertical, porém este sistema oscilatório não é foco do presente trabalho. (RIBEIRO, 2008)

Em solos não coesivos, ou seja, solos arenosos, o efeito de vibração se vê mais eficaz, pois proporciona um adensamento rápido, pela aproximação das partículas. Os rolos lisos com dispositivos de vibração se revelam altamente adequados para a compactação de solos arenosos, conseguindo-a de forma rápida e eficaz, atingindo uma razoável profundidade. (RICARDO; CATALANI, 1990)

Segundo Ricardo e Catalani (1990), o princípio do funcionamento de um rolo vibratório consiste no acionamento de uma massa móvel colocada na excentricidade em relação ao eixo, que provoca vibrações de certa frequência e amplitude, que propaguem pelo tambor até o solo.

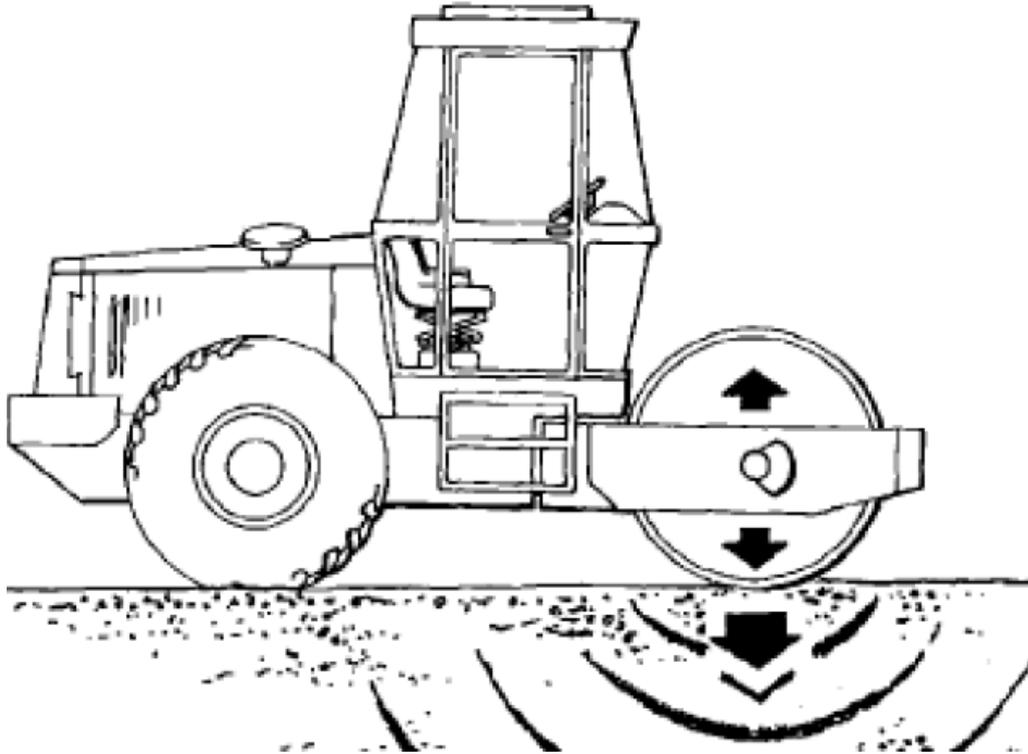


Figura 5.5: Efeito de um Rolo Liso Vibratório
Fonte: RIBEIRO (2008)

A vibração é definida pela sua amplitude e frequência, sendo que é a amplitude que determina a altura da vibração que se transmite ao solo, e a frequência determina o número de pancadas aplicadas no solo, em certo período de tempo. Geralmente as frequências são medidas em vibrações por minuto (vpm) ou em hertz (Hz), segundo Ribeiro (2008).

Segundo HOUAISS, (2009) *apud* MOURA, (2013):

- Frequência é um processo periódico de número de ciclos completos que ocorrem por unidade de tempo transcorrido, cuja unidade para um segundo é o Hertz.
- Período é um intervalo de tempo ou espaço entre estados idênticos de um sistema físico cujas propriedades variam periodicamente.
- Ciclo é qualquer processo de evolução de um sistema físico que leve este a reproduzir o seu estado inicial.

- Amplitude é a metade do valor da diferença entre o maior e menor valor numérico de uma quantidade que varia de modo alternado durante o período de uma oscilação.

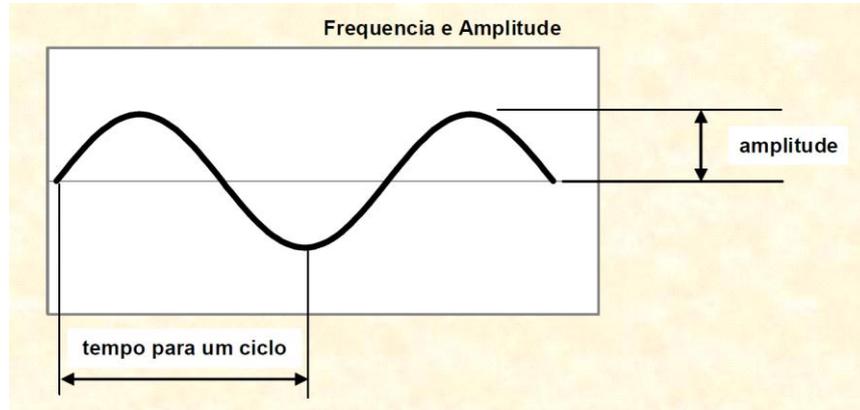


Figura 5.6: Frequência e Amplitude
Fonte: MOURA (2013)

Os compactadores de rolo liso acoplados por sistemas vibratórios de dupla amplitude trabalham eficazmente numa gama mais ampla de aplicações. A amplitude alta ou baixa é selecionada a partir da cabine de operação, adequando o sistema de acordo com o tipo de material a ser trabalhado e resultados esperados. (CAT, 2010)

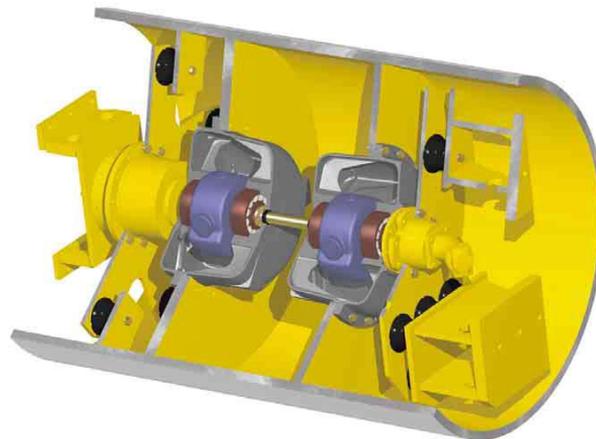


Figura 5.7: Sistema Vibratório
Fonte: CAT (2007)

É importante ressaltar que o acabamento que o rolo liso proporciona é bastante eficiente, deixando a superfície lisa e densa, o que evita a infiltração e o acúmulo de água. (RIBEIRO, 2008)

6 EQUIPAMENTOS DE COMPACTAÇÃO INTELIGENTE

6.1 SISTEMA DE COMPACTAÇÃO INTELIGENTE BOMAG

A BOMAG apresenta diversos componentes que agem individualmente e às vezes em conjunto, apresentando dados de monitoramento e mapeamento nos serviços de compactação.

Em seguida serão apresentadas as opções de sistemas de compactação para solos que a BOMAG oferece:

O primeiro sistema de medição de compactação apresentado pela Bomag, contempla um software que determina a rigidez dinâmica do solo utilizando o módulo de Evib [MN/m²] que é indicada no painel de operação. O mesmo sistema apresenta acessórios opcionais, e pode ser equipado com uma impressora que permite a documentação por faixa dos valores, assinalando quando já não é mais possível continuar com o trabalho de compactação. Detecta e documenta pontos fracos e irregularidades e fornece diagramas de linhas e barras para a documentação de toda a superfície de obras.

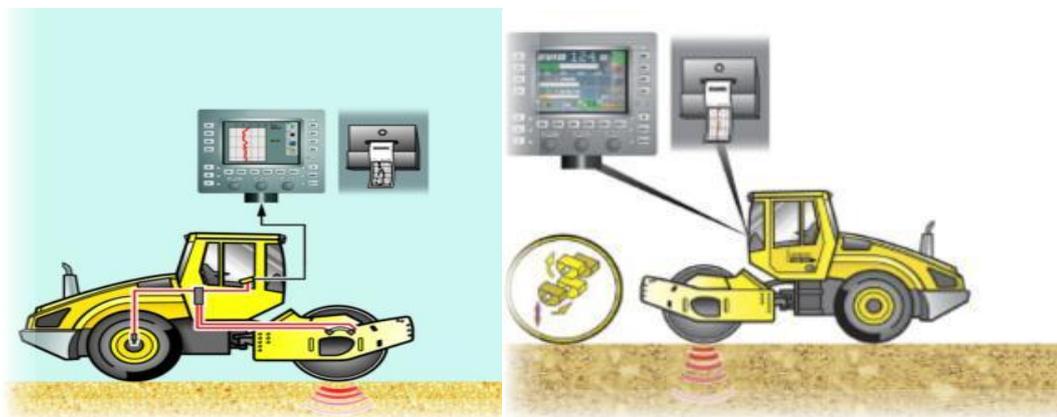


Figura 6.1: Registro e Impressão dos Dados Obtidos
Fonte: BOMAG (2010)

Outro aplicativo utilizado no controle de compactação é apresentado como um sistema de gestão de compactação, que é utilizado como complemento ao sistema de medição em obras de grande extensão, e onde é necessário ou aconselhável o controle de compactação dinâmica da área total, ou a comprovação da uniformidade da compactação.

Apresenta uma gestão de dados de medição e possibilidades de documentação e avaliação sendo aplicadas na construção de estradas, vias ferroviárias e na construção de aeroportos, na construção de barragens, aterros sanitários e fundações. Em ligação com as

aplicações do sistema de posicionamento global diferencial (DGPS) e com o sistema de rastreamento avançado (ATS), também utilizado para a monitorização e controle de trabalhos de compactação de asfalto com os cilindros.



Figura 6.2: Cabine de Controle com Mapeamento de Pontos Críticos
Fonte: BOMAG (2010)

O mais completo sistema de controle de compactação apresentado é um complemento de aplicações, que prevê a ligação de sistemas DGPS/ ATS locais aos sistemas de medição. Para poder se utilizar deste sistema o equipamento necessita dos softwares apresentados anteriormente, o qual disponibilizará interfaces aos sistemas DGPS/ATS comuns e aos serviços de referência como o de medição e o de gestão. Garante a documentação dos dados de qualidade da compactação, registra e guarda de forma clara os dados, sem perigo de comando incorreto ou manipulação do sistema. Em consequência o condutor é aliviado durante os registros dos dados de medição e as atribuições dos valores de medição, além de a intervenção da máquina de compactação ser automática e a sua eficiência aumentada.

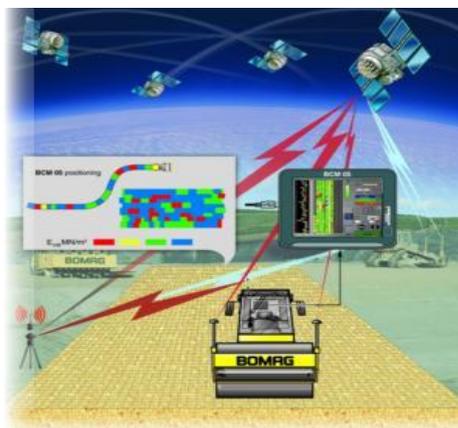


Figura 6.3: Interfaces dos Sistema de Compatação Via Satélite
Fonte: BOMAG (2010)

6.2 SISTEMA DE COMPACTAÇÃO INTELIGENTE CATERPILLAR

A CATERPILLAR tem um sistema que vem sendo aplicado em vários de seus equipamentos. Utilizando alta tecnologia este equipamento vem conquistando o mercado.



Figura 6.4: Rolo Compactador CAT CS56
Fonte: CAT (2007)

A Compactação *AccuGrade*TM para compactadores de solo, possui diversos acessórios como um sistema de mapeamento por sistema de posicionamento global (GPS) e medição que sente a compactação do solo à medida que funciona e relaciona os dados com a posição do GPS de medição. Possui um acelerômetro montado no rolo que mede o movimento para sentir os níveis de compactação, um pacote controlador que converte as medições do acelerômetro em valores de compactação Caterpillar (CCVs), que oferecem indicações de dureza do solo ao operador. Um receptor GPS que determina a posição em três dimensões do rolo compactador do solo por triangulação entre os diversos satélites. Sensores de ângulos que se montam na base do mastro.



Figura 6.5: Sistema de Trasmissão de dados
Fonte: CAT (2007)

O instrumento mede a inclinação esquerda / direita do rolo numa gama de $\pm 45^\circ$. Esta informação é enviada ao processador da unidade do visor.

O rádio é montado na cabina da máquina para garantir uma recepção de sinal máxima. O rádio recebe dados *Compact Measurement Record* (CMR) da estação base do GPS para calcular posições. O visor CD700 é a prova de água e consolida dados de posição, compactação e operacionais numa única interface intuitiva. O visor recolhe os dados do receptor GPS, do sensor de ângulo e do sistema de medição de compactação. Converte os dados em valores, exhibe os valores ao operador e guarda os valores em suportes de armazenamento.



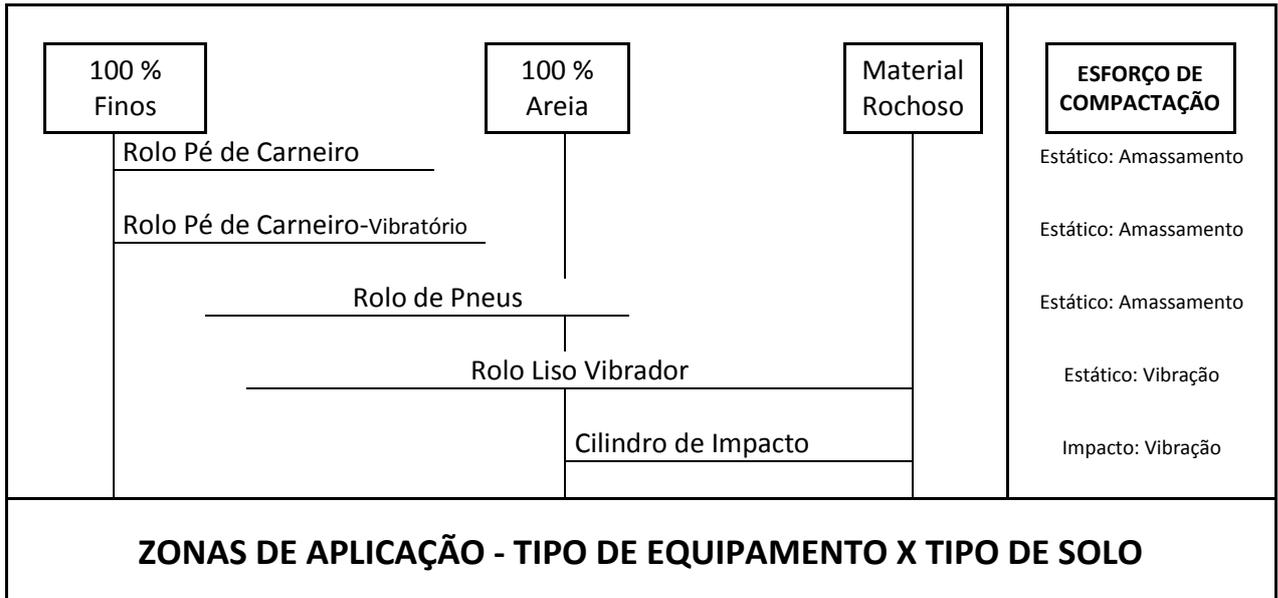
Figura 6.6: Visor LCD
Fonte: CAT (2007)

O mastro concebido para posicionar o receptor GPS sobre o centro do rolo desdobra-se hidraulicamente com uma bomba manual. Quando não é utilizado, o mastro dobra-se para uma posição de armazenamento segura, facilitando a remoção do receptor ao nível do solo. Estas estão incluídas no radiador do motor, no cárter de óleo do motor, e no reservatório de fluido hidráulico e de combustível.

7 ANÁLISE DE DADOS

Foram apresentados vários equipamentos de compactação, sendo eles aplicados para tipos de solos específicos. A seguir, será ilustrado uma correlação entre os equipamentos, e os materiais utilizados em obras de terraplenagem.

Quadro 7.1: Zonas de Aplicação dos Equipamentos



Fonte: Adaptada de RIBEIRO (2008)

Abaixo é apresentada uma tabela que considera o peso bruto dos equipamentos, assim como a espessura final da camada compactada e a uniformidade do solo, considerando estes parâmetros para adequar os equipamentos ideais com os tipos de solos específicos.

Quadro 7.2: Tipos de Equipamento para cada Tipo de Solo.

Tipo de Rolo	Peso Máximo (t)	Espessura Máxima (Compactado) cm	Uniformidade da Camada	Tipo de Solo
Pé de Carneiro estático	20	40 cm	Boa	Argilas e Siltes.
Pé de Carneiro vibratório	30	40 cm	Boa	Misturas - Areia, Silte e Argila.
Pneumático Leve	15	15 cm	Boa	Misturas - Areia, Silte e Argila.
Pneumático Pesado	35	35 cm	Muito Boa	Praticamente Todos.
Vibratório com Rodas Metálicas Lisas	30	50 cm	Muito Boa	Areias, Cascalhos, Materiais Granulares.
Liso Metálico Estático (3 Rodas)	20	10 cm	Regular	Materiais Granulares (Brita).
Grade (Malhas)	20	20 cm	Boa	Materiais Granulares, ou em Blocos.
Combinados	20	20 cm	Boa	Praticamente Todos.

Fonte: Adaptada de RICARDO e CATANANI, (1990)

Para compararmos as efetivas produções entre os equipamentos de compactação inteligente e os convencionais, serão estimadas as produções de dois equipamentos da Caterpillar, sendo eles a CS76, que se utiliza sistema de compactação inteligente, e a 815, utilizada na compactação convencional.

Dados da Caterpillar **815**:

- Potência Bruta – 170 HP
- Cobertura da Passada – 2.150 mm
- Peso Bruto – 17.400kg

Tabela 7.1: Produção Estimada do Equipamento de Compactação 815

Produção Estimada da 815				
Números de Passadas	Velocidade Média (Km/h)	Produção Estimada por Espessura da Camada Compactada (m³/h)		
		0,10 m	0,15 m	0,20 m
3	12,9	837	1256	1675
	9,6	628	942	1256
	6,4	419	628	837
4	12,9	628	942	1256
	9,6	471	706	942
	6,4	314	471	628
6	12,9	502	754	1005
	9,6	377	565	754
	6,4	251	377	502
8	12,9	419	628	837
	9,6	314	471	628
	6,4	286	314	419

Fonte: Adaptada da CAT (1975)

Dados da Caterpillar **CS76**:

- Potência Bruta – 174 HP
- Largura do Tambor - 2.134 mm
- Peso Bruto – 16.990 kg

Tabela 7.2: Produção Estimada do Equipamento de Compactação CS76

Produção Estimada da CS 76				
	Profundidade (m)	Densidade (%)	Camada de 0,15 m	Camada de 0,30 m
Superfície	0,00 - 0,50	> 98	425 m ³ /h	545 m ³ /h
Rasa	0,50 - 3,00	95 - 98	670 m ³ /h	770 m ³ /h
Profunda	> 3,00	90 - 95	800 m ³ /h	1250 m ³ /h

Fonte: Adaptada da CAT (2007)

Como os dados apresentados do equipamento 815 da Caterpillar, utilizam o número de passadas e a velocidade média para determinar a produção estimada, utilizaremos um gráfico que correlaciona estas variáveis, determinando o proctor alcançado. O Proctor será à base das comparações, pois é o fator que determina a capacidade de suporte o aterro.

O gráfico a seguir é dado na energia de compactação modificado, e foi utilizado para determinar o proctor do obtido pela máquina 815, através das quantidades de passadas pela velocidade do equipamento.

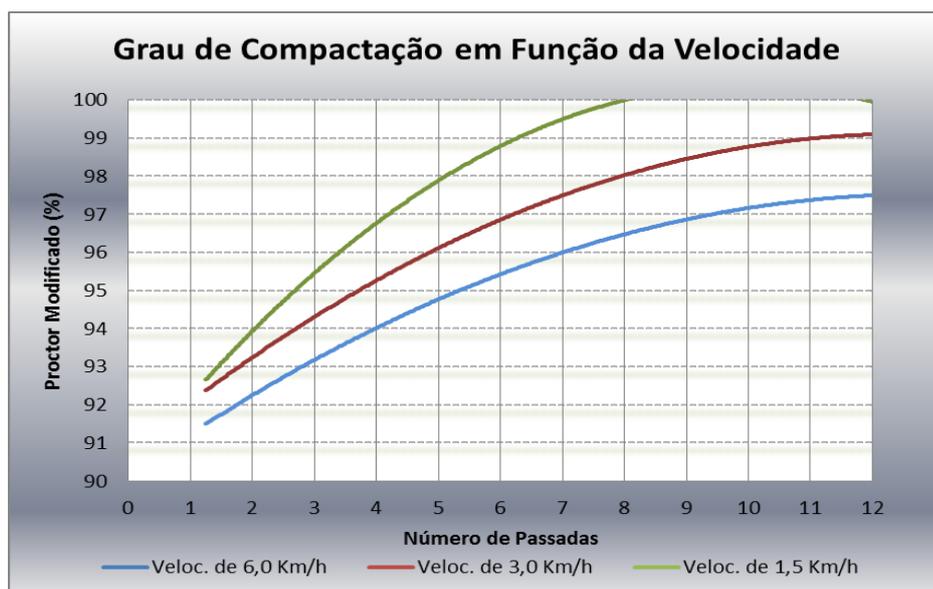


Figura 7.1: Grau de compactação em função da Velocidade
Fonte: Adaptada de RICARDO e CATANANI (1990)

A seguir foram realizadas 4 comparações entre os equipamentos abordados, para determinar a produção de 1 m³ por hora, atingindo o proctor especificado.

Tabela 7.3: Comparativo entre as Maquinas da Caterpillar 815 E CS76

Comparativo entre as Maquinas 815 e CS76 da CATERPILLAR						
Comparação	Modelo do Equipamento	Velocidade Média (km/h)	Número de Passadas	Profundidade (m)	Proctor (%)	Produção para Camadas de 0,15 m (m ³ /h)
1	815	6,4	3	-	93,2*	628
	CS76	-	-	> 3,00	90 - 95	800
2	815	6,4	6	-	95,5*	377
	CS76	-	-	0,50 - 3,00	95 - 98	670
3	815	3,0	8	-	98*	137**
	CS76	-	-	0,00 - 0,50	> 98	425
4	815	1,5	8	-	100*	74**
	CS76	-	-	0,00 - 0,50	> 98	425

* Densidade em Proctor Modificado.

** Como a produção estimativa da 815 não apresenta dados para velocidades inferiores a 6 km/h, para efeito de comparação, foi realizado uma ponderação considerando os dados fornecidos para as velocidades apresentadas.

Fonte: PRÓPRIA (2013)

Aqui, demonstra-se os dados da tabela anterior em forma de gráfico.

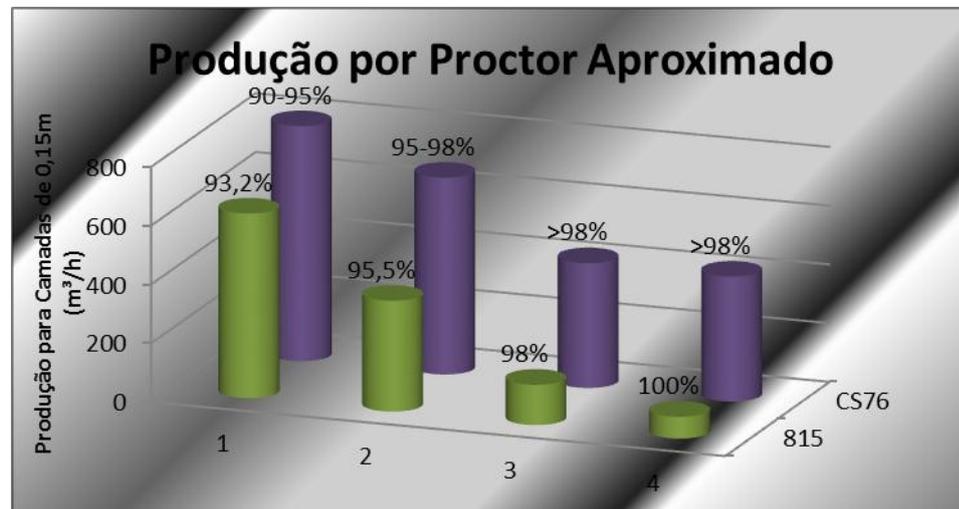


Figura 7.2: Comparativo
Fonte: PRÓPRIA (2013)

8 CONCLUSÃO

Como visto no decorrer deste presente trabalho, estão à nossa disposição tecnologias que, aplicadas de forma coerente nos equipamentos adequados, podem facilitar muito o nosso dia-a-dia. O sistema inteligente de compactação tem este propósito, unir diversos softwares avançados de mapeamento, rastreamento e sensores, hardwares (como computador de bordo, tela LCD, impressora) capazes de serem introduzidos em equipamentos pesados. O este sistema é acoplado em rolos compactadores normais, que podem ser utilizados em qualquer tipo de solo, sendo escolhido o rolo liso para solos coesivos e rolos pé de carneiro para solos argilosos. Os maiores obstáculos da compactação inteligente são os custos e a mão-de-obra especializada, pelo fato dos equipamentos abstraírem tecnologias avançadas e de alta complexidade. Superando estas dificuldades, o sistema inteligente de compactação se vê muito eficiente quando se trata de produção. Comparando-o com o método convencional obtém-se uma produção muito superior e, dependendo das variáveis, exposta ao longo do trabalho, pode-se obter um aproveitamento mais que dobrado da convencional, em metros cúbicos por hora.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Máquinas rodoviárias – Definições de dimensões e códigos – Parte 2: Equipamentos e acessórios.** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/cb48/admin/48.000.01-071%20Projeto.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2013.

ACECIVA – ASSOCIAÇÃO CULTURAL DO VALE DO AÇO. **Timóteo – Vale do Aço - Obras de Terraplenagem para a Construção da Estrada de ferro.** Minas Gerais, 2009. Disponível em: <<http://aceciva.blog.terra.com.br/tag/terraplanagem-e-carrocas/>> Acessado em: 03 abr. 2013.

BOMAG – *Sistemas de medición y de documentación de la compactación: BEM, BTM plus, BTM prof, bcm05, Localizador BCM05.* 2010. Bomag Americans, 2010. Disponível em: <http://www.dimasur.mx/docs/compactacion-bomag/pesado-autopropulsados/PRS112002_0403.pdf> Acessado em: 03 jun. 2013.

BUFFALO SPRINGFIELD - **SteamRoller Poster.** São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.zazzle.com.br/buffalo_springfield_steamroller_poster-228260882511860766> Acessado em: 23 abr. 2013.

CAT – CATERPILLAR. **Compactação de Solo Vibratório – Compactação inteligente: Uma Tecnologia em Desenvolvimento.** São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://brasil.cat.com/cda/layout?m=312616&x=12&id=927320>> Acessado em: 23 abr. 2013.

_____. **CS56/CP56, CS64/CP64 e CS74/CP74 – Compactadores Vibratórios de Solos.** São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.stet.pt/dl/catalog/CS56_CP56%20CS64_CP64%20CS74_CP74.pdf> Acessado em: 22 abr. 2013.

CAT – CATERPILLAR. **Manual de Produção Caterpillar:** São Paulo, 1975.

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Instrução de Projeto - Projeto de Terraplenagem: Instrução. Elaboração. Terraplenagem.** Santa Catarina, 2005.

DNER-SP – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma rodoviária - Especificação de Serviços 282/97: Terraplenagem - Aterros.** Rio de Janeiro, 1997.

_____. – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma rodoviária – Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas: Método de ensaio 129/94a.** Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME129-94.pdf>> Acessado em: 06 jun. 2013.

_____ – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma rodoviária – Solos – análise granulométrica por peneiramento: Método de Ensaio 080/94b**. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME080-94.pdf>> Acessado em: 06 jun. 2013.

_____ – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma rodoviária – Solos – Determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito: Método de Ensaio 122/94c**. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME122-94.pdf>> Acessado em: 06 jun. 2013.

_____ – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma rodoviária – Solos – determinação do limite de plasticidade: Método de Ensaio 082/94d**. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME082-94.pdf>> Acessado em: 06 jun. 2013.

_____ – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma rodoviária – Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas: Método de Ensaio 049/94e**. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME049-94pdf>> Acessado em: 06 jun. 2013.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Diretoria Executiva - Instituto de Pesquisa Rodoviária - Manual de Implantação Básica de Rodovia** – 3ª Ed. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_implantacao_basica_rodovia_publ_ipr_742.pdf> Acessado em: 06 jun. 2013.

FERNANDES, M. **Sebenta de Mecânica dos Solos**. Porto: FEUP, 1994. v. 1.

GATTO, Luan. **PAVESUL ENGENHARIA**. Terraplenagem e Drenagem em Geral: São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://pavesul.com/terraplenagem-e-drenagem-em-geral/>> Acessado em: 08 mai. 2013.

KOMATSU. **Manual de Vendas**. Suzano, 1982.

METRÔ-SP – COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Controle da Qualidade da Compactação de Solos Tropicais em Obras Viárias Urbanas – Testes e Estudos Metroviários**. São Paulo, 1990.

MOURA, E. **Mecânica dos solos**. São Paulo: FATEC-SP, 2013. Apostila para disciplina de graduação do Departamento de Obras de Terra - Mecânica dos Solos. Disponível em: <http://professoredmoura.com.br/download/Apostila_Mecanica_Solos_jan_2012.pdf> Acessado em: 25 mai. 2013.

REVISTAMT - MANUTENÇÃO E TECNOLOGIA. São Paulo: Sobratema, 2011 – Edição 145. **Máquinas e Equipamentos – Pavimentação**.

RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. **Manual Prático de Escavação– Terraplenagem e Escavação de Rocha**. São Paulo: PINI, 1990.

RIBEIRO, Simão Pedro Tavares. **Terraplenagem Metodologia e Técnica de Compactação**: Porto, 2008. 95 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2008: Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59184/1/000129829.pdf>> Acessado em: 03 mai. 2013.